

Животноводство и кормопроизводство. 2026. Т. 109. № 2. С. 78-95.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2026. Vol. 109. No. 2. P. 78-95.

Научная статья
УДК 597.554.3:577.17
doi: 10.33284/2658-3135-109-2-78

Таксономический профиль микробиоты кишечника карпа

Марина Сергеевна Мингазова¹, Юлия Владимировна Килякова²,
Елена Петровна Мирошникова³, Азамат Ерсанович Аринжанов⁴

^{1,2,3,4}Оренбургский государственный университет имени В.А. Бондаренко, Оренбург, Россия

¹ms.mingazova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2818-1312>

²fish-ka06@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2385-264X>

³elenaakva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3804-5151>

⁴arin.azamat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6534-7118>

Аннотация. В последнее время растет интерес к различным кормовым препаратам, применяемым в аквакультуре, из-за их благоприятного влияния на организм рыб. Добавки могут быть использованы для увеличения роста, повышения выживаемости, снижения численности заболеваний. В исследовании были изучены кормовые препараты и их комплексы: I группа – ванилин, II группа – пробиотик, III группа – ванилин+пробиотик, IV группа – ванилин+пробиотик+микроэлементы (Zn, I, Cr, Co), V группа – ванилин+пробиотик+ультрадисперсные частицы диоксида кремния (УДЧ SiO₂), VI группа – ванилин+микроэлементы (Zn, I, Cr, Co)+УДЧ SiO₂ и VII группа – ванилин+пробиотик+микроэлементы (Zn, I, Cr, Co)+УДЧ SiO₂. Результаты показали положительный прирост живой массы в некоторых опытных группах: I, II, IV, VI и VII, рост в которых отличался от контроля от 6,8 % (P≤0,05) до 10,2 % (P≤0,01). Отрицательная динамика установлена в III и V группах. В кишечной микробиоте карпа контрольной и опытных группах отмечены 18 филумов, среди которых преобладали типичные представители – *Pseudomonadota*, *Fusobacteriota* и *Bacillota*. Отличительные результаты были получены в группах, где в качестве кормового препарата был использован пробиотик. В них появлялись представители молочнокислых бактерий *Lactococcus*. В I группе отмечено снижение представителей нормальной кишечной микробиоты. В III группе установлено снижение рода *Cetobacterium*. Множественные благоприятные изменения были установлены в VII группе. Значительные изменения в альфа-разнообразии отмечены в VI и VII группах. При исследовании бета-разнообразия статистически значимых различий с контролем не установлены. Таким образом, наилучшие результаты были установлены в VII группе, в которой отмечен прирост массы карпа до 6,8 % (P≤0,05) при положительном изменении состава микробиоты кишечника.

Ключевые слова: аквакультура, карп, микробиом, рост, ванилин, пробиотик, ультрадисперсные частицы, микроэлементы

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке гранта на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технического развития (№ 075-15-2024-550).

Для цитирования. Таксономический профиль микробиоты кишечника карпа / М.С. Мингазова, Ю.В. Килякова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов // Животноводство и кормопроизводство. 2026. Т. 109. № 2. С. 78-95. [Mingazova MS, Kilyakova YuV, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE. Taxonomic profile of the gut microbiota of carp. Animal Husbandry and Fodder Production. 2026;109(2):78-95. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-109-2-78>

Original article

Taxonomic profile of the gut microbiota of carp

Marina S Mingazova¹, Yulia V Kilyakova², Elena P Miroshnikova³, Azamat E Arinzhanov⁴^{1,2,3,4}Orenburg State University named after VA Bondarenko, Orenburg, Russia¹ms.mingazova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2818-1312>²fish-ka06@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2385-264X>³elenaakva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3804-5151>⁴arin.azamat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6534-7118>

Abstract. Recently, there has been a growing interest in various feed preparations used in aquaculture due to their beneficial effects on the fish body. Supplements can be used to increase growth, increase survival, and reduce the number of diseases. The study examined feed preparations and their complexes: group I – vanillin, group II – probiotic, group III – vanillin+probiotic, group IV – vanillin+probiotic+trace elements (Zn, I, Cr, Co), group V – vanillin+probiotic+nanoparticles of silicon dioxide (nanoparticles SiO₂), group VI – vanillin+trace elements (Zn, I, Cr, Co)+nanoparticles SiO₂ and group VII – vanillin+probiotic+trace elements (Zn, I, Cr, Co)+nanoparticles SiO₂. The results showed a positive increase in body weight in some experimental groups: I, II, IV, VI and VII, the growth in which differed from the control from 6.8% (P≤0.05) to 10.2% (P≤0.01). Negative dynamics was found in groups III and V. In the intestinal microbiota of carp, 18 phyla were noted in the control and experimental groups, among which typical representatives prevailed – *Pseudomonadota*, *Fusobacteriota* and *Bacillota*. Distinctive results were obtained in the groups where a probiotic was used as a feed preparation. Representatives of lactic acid bacteria *Lactococcus* appeared in them. In group I, there was a decrease in representatives of the normal intestinal microbiota. In group III, a decrease in the genus *Cetobacterium* was found. Multiple favorable changes were found in group VII. Significant changes in alpha diversity were noted in groups VI and VII. In the study of beta diversity, no statistically significant differences were found with the control. Thus, the best results were found in group VII, which showed an increase in carp weight of up to 6.8% (P≤0.05) with a positive change in the composition of the intestinal microbiota.

Keywords: aquaculture, carp, microbiome, growth, vanillin, probiotic, ultrafine particles, trace elements

Acknowledgments: the work was carried out with the financial support of a grant for major scientific projects in priority areas of scientific and technical development (No. 075-15-2024-550).

For citation: Mingazova MS, Kilyakova YuV, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE. Taxonomic profile of the gut microbiota of carp. Animal Husbandry and Fodder Production. 2026;109(2):78-95. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-109-2-78>

Введение.

Рыба, например, карп (*Cyprinus carpio*), является важным источником продовольствия во всем мире благодаря широкому содержанию питательных веществ. Обыкновенный карп (*Cyprinus carpio*) – важный промысловый пресноводный вид, используемый в аквакультуре и в качестве модели для научных исследований (Chen CZ et al., 2022). На гидробионтов оказывают влияние различные факторы окружающей среды, в том числе температура воды, качество кормления и различные заболевания. Резкое изменение внутреннего гомеостаза под влиянием этих причин может оказать негативное действие на качество продукции, которое в дальнейшем может оказаться у конечного потребителя – человека (Morshed SM and Lee T-H, 2023). Кроме того, возможно увеличение стрессовой нагрузки на организм, что может повлиять на снижение продуктивности и устойчивости к негативному влиянию факторов окружающей среды (Churilov MN et al., 2025).

Включение различных кормовых препаратов в рацион рыб может стимулировать изменения физиологического состояния организма, что способствует улучшению прироста массы, повышению стрессоустойчивости, уменьшению числа заболеваний, а также изменению микробиоты

(Zhang L et al., 2023; Зуева М.С., 2022). Обогащение кормов различными добавками снижает смертность и повышает продуктивность (Kolygas MN et al., 2025; Yu X-Z et al., 2025). Например, пробиотики могут положительно влиять на микробиоту кишечника рыб и снижать численность патогенных микроорганизмов (Yang Q et al., 2026).

Микробиом – совокупность микроорганизмов в органах, которые функционируют в системе взаимодействия «организм-хозяин» и которые имеют важное значение для роста и развития. В состав сообщества могут входить простейшие, дрожжи, бактерии, вирусы, которые обычно встречаются в пищеварительном тракте, коже, жабрах и мышцах. Важное значение имеет микробиота кишечника (Diwan AD et al., 2023; Pisaniello A et al., 2025), представители которой могут синтезировать витамины или оказывать пробиотическое воздействие на устойчивость организма к инфекциям (Paralika V and Makridis P, 2025). Микробиом желудочно-кишечного тракта у гидробионтов насчитывает около 10^7 - 10^8 микроорганизмов на грамм и играет ключевую роль в иммунитете, метаболизме и росте (El-Son MAM et al., 2025; Yoon D-S et al., 2026).

Однако изменения в микробиоте кишечника могут стимулировать развитие дисбактериоза под влиянием некоторых компонентов питания или окружающей среды (Tay DD et al., 2025). При этом нарушается система «организм-хозяин», что приводит к изменению доминирующих представителей, а также способствует увеличению патогенных микроорганизмов, которые могут оказывать неблагоприятное воздействие на организм рыб (Hayes C et al., 2025).

На сегодняшний день выявлено, что ряд кормовых препаратов может влиять на состояние микробиоты кишечника у рыб. Например, ванилин и ультрадисперсные частицы могут оказывать действие на качественный и количественный состав (Мингазова М.С. и др., 2025). Кроме того, использование ванилина в составе рациона гидробионтов способно повысить устойчивость к заболеваниям (He W et al., 2017). Существуют данные о синергетическом действии ванилина и некоторых антибиотиков, в результате которых увеличивается положительное действие на некоторые патогены (Maisch NA et al., 2022). В связи с этим возможен подобный эффект при применении кормовых препаратов совместно с веществами, которые показывали антибиотическое влияние на организм рыб, например ультрадисперсные частицы (De Silva C et al., 2021).

Наиболее изученные результаты получены при использовании пробиотических препаратов. Так, применение молочнокислых бактерий приводило к улучшению роста и лучшему усвоению корма за счет изменения микробиоты желудочно-кишечного тракта и увеличения бактерий родов *Clostridium* и *Leuconostoc* (Hew SY et al., 2025). Кроме того, возможно использование макро- и микроэлементов в рационе рыб, что может сопровождаться улучшением гомеостаза и роста (Аринжанова М.С. и др., 2023).

Таким образом, использование кормовых препаратов в рационе рыб может стимулировать изменения в сообществе микробиома кишечника и оказывать влияние на физиологическое состояние. Кроме того, возможно улучшение ростовых показателей и повышение эффективности кормления, что благоприятно сказывается на себестоимости конечной продукции (Rimoldi S et al., 2020). Расширяя возможность использования кормовых препаратов в кормлении карпа, в нашем исследовании были изучены комплексы веществ, в состав которых входили различные добавки.

Цель исследования.

Оценить влияние комплексов кормовых препаратов в рационе карпа на рост и микробиом кишечника.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Годовики карпа (*Cyprinus carpio*) ($m=97\pm 2$ г).

Исследования выполнены в соответствии с протоколами Женевской конвенции и принципами надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009). Все процедуры над животными выполняли в соответствии с требованиями Этического комитета Оренбургского государственного университета имени В.А. Бондаренко (протокол № 1 от 17.01.2024 г.).

Схема эксперимента. Эксперимент выполнен на базе Оренбургского государственного университета на кафедре биотехнологии животного сырья и аквакультуры. Схема исследования представлена в таблице 1.

Таблица 1. Схема эксперимента
Table 1. The scheme of the experiment

Кормовой препарат / Feed preparation	Производитель / Manufacturer	Доза / Dose	Группа / Group							
			кон- троль / control	I	II	III	IV	V	VI	VII
Основной рацион – КРК-110-1 / The main ration is KRK-110-1	ОАО «Оренбургский комбикормовый завод» / JSC Orenburg Feed Mill	2-5 % в сутки / 2-5% per day	+	+	+	+	+	+	+	+
Ванилин / Vanillin	«Sigma-Aldrich», Сент-Луис, США / Sigma-Aldrich, St. Louis, USA	25 мг/кг корма / 25 mg/kg of feed	-	+	-	+	+	+	+	+
Пробиотик / Probiotic	ООО Биотехнологическая фирма «Компонент», г. Бугуруслан, Россия / LLC Biotech company "Component", Buguruslan, Russia	1 г/кг корма / 1 g/kg of feed	-	-	+	+	+	+	-	+
Микроэлемент Zn / Trace element Zn		20 мг/кг корма / 20 mg/kg of feed	-	-	-	-	+	-	+	+
Микроэлемент I / Trace element I	ООО «Квадрат-С», г. Москва, Россия / Kvadrat-S LLC, Moscow, Russia	0,6 мг/кг корма / 0.6 mg/kg of feed	-	-	-	-	+	-	+	+
Микроэлемент Cr / Trace element Cr		2 мг/кг корма / 2 mg/kg of feed	-	-	-	-	+	-	+	+
Микроэлемент Co / Trace element Co	ООО «НПК «Ас-конт+», г. Серпухов, Россия / NPC Ascont+ LLC, Serpukhov, Russia	2 мг/кг корма / 2 mg/kg of feed	-	-	-	-	+	-	+	+
Ультрадисперсные частицы диоксида кремния (УДЧ SiO ₂) / Ultrafine silicon dioxide particles (nanoparticles SiO ₂)	ИП Хисамутдинов Р.А., г. Коломна, Россия / IP Khisamutdinov R.A., Kolomna, Russia	200 мг/кг корма / 200 mg/kg of feed	-	-	-	-	-	+	+	+

В состав пробиотика входили штаммы *Enterococcus faecium* (2×10^{10} КОЕ), *Lactobacillus plantarum* (1×10^5 КОЕ), *Lactobacillus buchneri* (1×10^5 КОЕ), *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *Shermanii* (2×10^8 КОЕ), *Bifidobacterium bifidum* (1×10^9 КОЕ)).

Исследование проведено в течение 42 суток. Кормление – в светлое время, при кратности – 4 раза в день. Дозы рациона пересчитывали еженедельно после взвешивания. Кормовые добавки

нанесены на корм путем напыления. Первоначальная дозировка была основана на исследованиях (Степанцова Г.Е. и др., 2018; Akter S et al., 2021; Мингазова М.С. и др., 2023; Козубова Л.И. др., 2012). По результатам исследований (Мингазова М.С. и др., 2025) дозировка ванилина была снижена до 25 мг/кг в связи с возможным воздействием препарата на увеличение численности *Vibrio*. Микроэлементы были использованы в следующей форме: Zn – цитрат цинка, I – калия йодид, Cr – пиколинат хрома, Co – кобальт хлорида. Используемые препараты йода были применены в рекомендуемых дозировках для рыб (Gramm SY et al., 2020; EFSA, 2009).

Подопытная рыба содержалась в условиях аквариумного стенда (V=300 л) по 9 голов в каждом с первоначальной массой 97 ± 2 г. Температура воды составила $+25 \pm 2$ °C, уровень растворенного в воде кислорода – 7-9 мг/л, водородный показатель – 7.

Живая масса определялась еженедельно при помощи индивидуального взвешивания (± 1 г) при помощи весов Electronic Scale SF-400 с погрешностью ± 1 г. После убоя в стерильные пробирки проводили отбор проб кишечника для определения микробиома. Образцы полостного содержимого кишечника рыбы помещали в стерильные микропробирки. Все образцы замораживали при -20 °C и транспортировали в сухом льду для последующего выделения ДНК. Пробы отбирали случайным образом у 4 голов рыб из каждой группы.

Оборудование и технические средства. Исследование микробиоты кишечника проведено на базе Центра коллективного пользования «Персистенция микроорганизмов» ФГБУН Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза Уральского отделения РАН (<https://ckp-rf.ru/ckp/351815/>).

Статистическая обработка. Биоинформатический анализ данных секвенирования проведен с помощью программ «FastQC v. 0.11.9» («Babraham Bioinformatics», Англия) и «Usearch V. 11.0.667» (Edgar R, 2010, США) (включала фильтрацию по качеству (ожидаемая ошибка или $\text{max} \leq 1,00$) и минимальной длине ампликона (400 п.н.)). Достоверность статистически значимых различий считали по t-критерию Стьюдента при значениях с $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$, $P \leq 0,001$.

Графическая обработка выполнена при помощи «Excel» («Microsoft», США) и веб-платформы MicrobiomeAnalyst (<https://www.microbiomeanalyst.ca/MicrobiomeAnalyst/>). Для метагенома с помощью MicrobiomeAnalyst кишечника производили расчет альфа- (индекс разнообразия Шенона (Shannon), индекс разнообразия Симпсона (Simpson)).

Результаты исследования.

Получая кормовые препараты вместе с основным рационом, рыбы опытных групп показали следующие результаты по приросту живой массы (рис. 1).

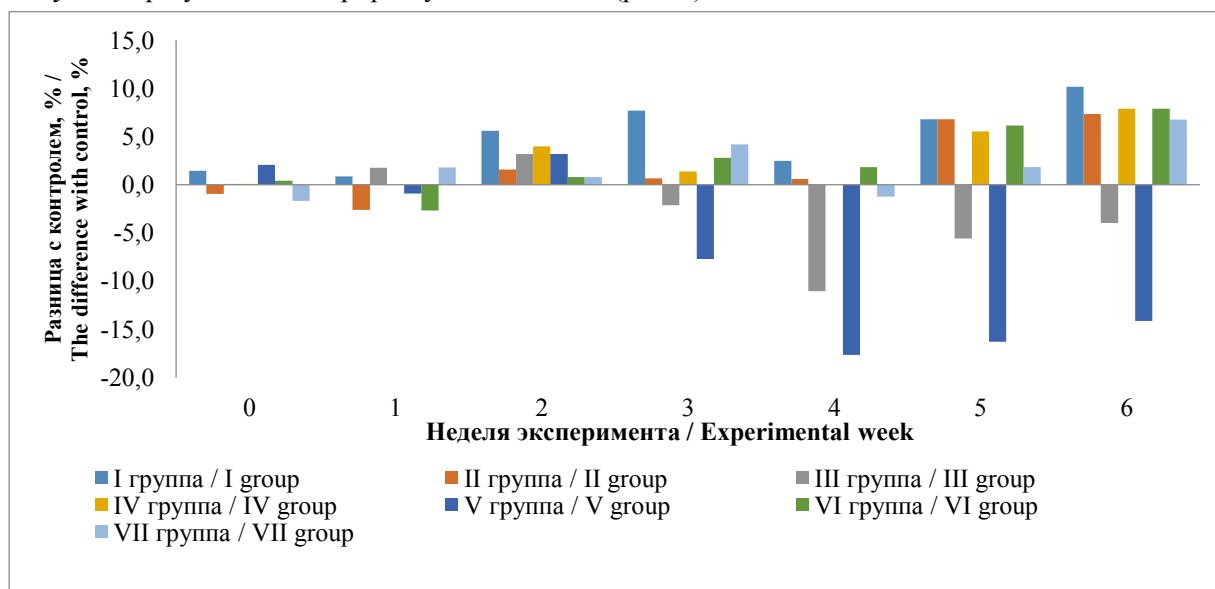


Рисунок 1. Динамика живой массы карпа опытных групп относительно контроля, %
Figure 1. Dynamics of live weight of carp of the experimental groups relative to the control, %

Улучшение динамики живой массы отмечено в I, II, IV, VI и VII группах, где рост отличался от контроля на 6,8 % ($P \leq 0,05$) – 10,2 % ($P \leq 0,01$). В то же время в III и V группах рост снижался на 4 % и 14 % ($P \leq 0,001$) по отношению к контролю.

При изучении микробиоты кишечника карпа было выявлено 18 бактериальных филум: *Pseudomonadota*, *Actinomycetota*, *Fusobacteriota*, *Bacillota*, *Acidobacteriota*, *Bacteroidota*, *Campylobacterota*, *Bdellovibrionota*, *Myxococcota*, *Planctomycetota*, *Chloroflexota*, *Deinococcota*, *Patescibacteria*, *Spirochaetota*, *Thermodesulfobacteriota* и *Verrucomicrobiota*.

Анализ альфа-разнообразия показал незначительное увеличение индексов Шеннона (рис. 2) и Симпсона (рис. 3) в IV и V группах (рис. 3).

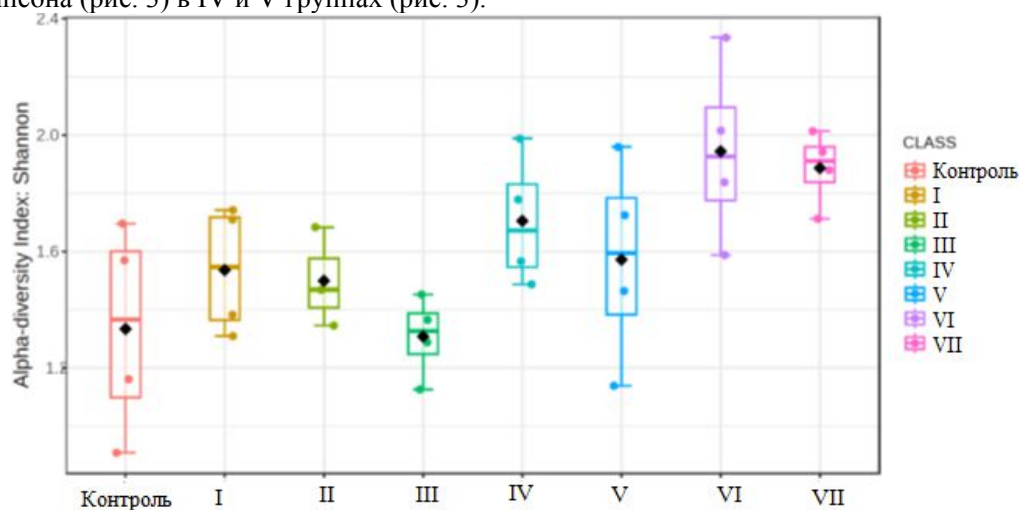


Рисунок 2. Индексы разнообразия Шеннона

Figure 2. Shannon Diversity Indexes

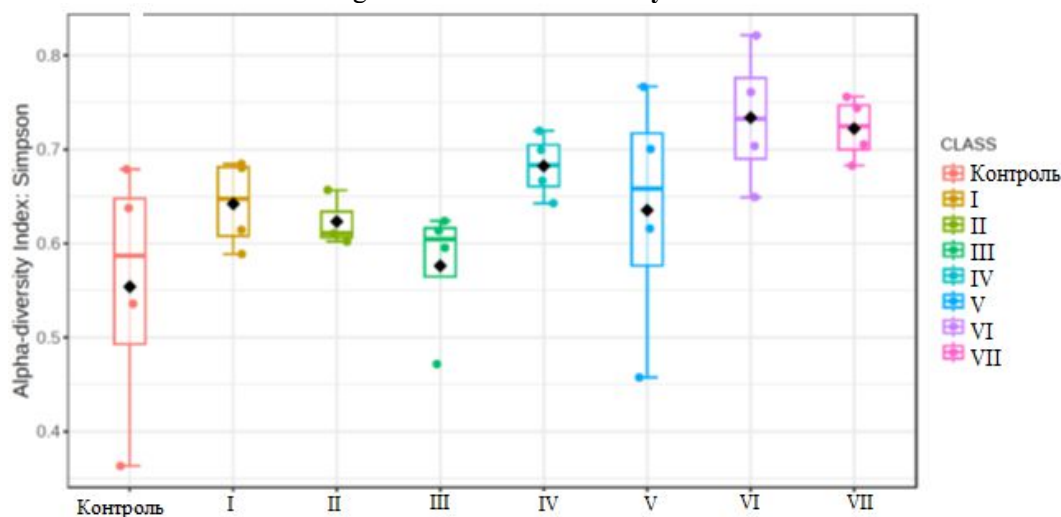


Рисунок 3. Индексы разнообразия Симпсона

Figure 3. Simpson Diversity indexes

Наиболее значимые результаты были получены в VI и VII группах. Так, индекс разнообразия Шеннона повышался до 1,59-2,34 в VI группе ($p \leq 0,041$) и до 1,71-2,01 в VII группе ($p \leq 0,035$) (в контроле – 0,91-1,70) (рис. 2). Индекс разнообразия Симпсона повышался до 0,65-0,82 в VI группе ($p \leq 0,031$) и до 0,68-0,76 в VII группе ($p \leq 0,026$) (в контроле – 0,36-0,68) (рис. 3).

В контрольной группе доминировали 3 филума: *Fusobacteriota* (20,68-80,59 %), *Pseudomonadota* (15,23-60,73 %) и *Bacillota* (1,95-10,46 %). Минорные филумы были представлены *Actinomycetota* (0-0,49 %), *Bacteroidota* (0-1,51 %), *Bdellovibrionota* (0-0,03 %), *Spirochaetota* (0,06-8,18 %), *Thermodesulfobacteriota* (0-6,31 %) и *Verrucomicrobiota* (0-0,12 %) (рис. 4).

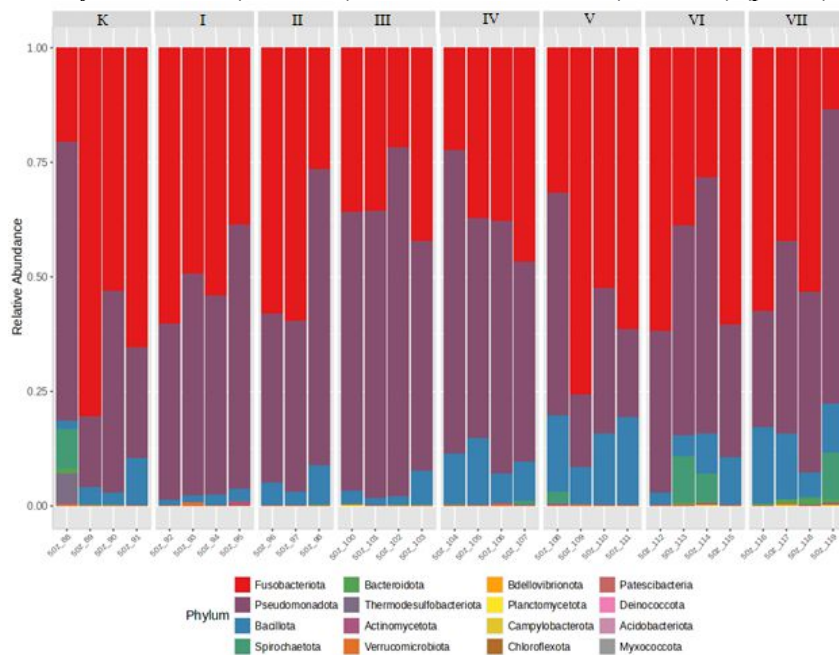


Рисунок 4. Таксономический состав на уровне филума микробиоты кишечника рыб
Figure 4. Taxonomic composition at the phylum level of fish intestinal microbiota

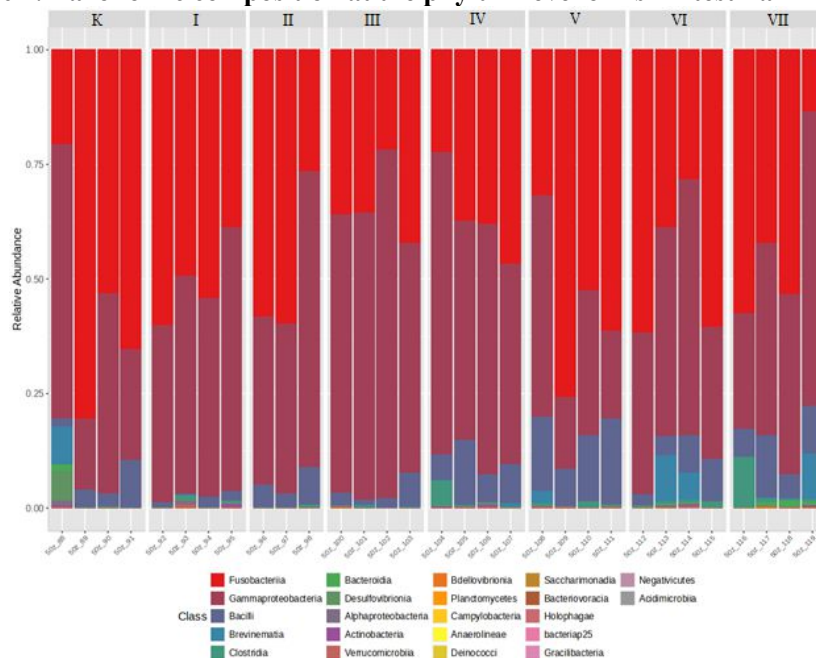


Рисунок 5. Таксономический состав на уровне классов микробиоты кишечника рыб
Figure 5. Taxonomic composition at the class level of fish intestinal microbiota

На уровне классов доминировали *Gamma*proteobacteria (15,21-59,70 %), *Bacilli* (1,95-10,45 %), и *Fusobacteriia* (20,68-80,59 %) (рис. 5). Доминирующими семействами были *Aeromonadaceae* (13,39-56,08 %), *Erysipelotrichaceae* (1,95-10,42 %), и *Fusobacteriaceae* (20,68-80,59 %) (рис. 6). На уровне родов доминировали *Aeromonas* (13,39-56,02 %), *Cetobacterium* (20,68-80,37 %) и *Culicoidibacter* (1,95-10,42 %) (рис. 7).

Опытные группы характеризовались изменениями в соотношении бактериальных таксонов на всех уровнях.

В частности, в I группе на уровне филумов снизилась доля *Bacillota* до 1,42-2,75 % (1,95-10,46 % в контроле). Представители филума *Spirochaetota* не были выявлены (0,06-8,18 % в контроле) (рис. 4). На уровне классов снизилась доля *Bacilli* до 0,44-2,50 % (1,95-10,45 % в контроле) и *Bacteroidia* до 0-0,01 % (0-1,51 % в контроле) (рис. 5). На уровне семейств снизилась доля *Erysipelotrichaceae* до 0,35-2,50 % (1,95-10,42 % в контроле). Представители *Brevinemataceae* (0,06-8,18 % в контроле) выявлены не были. Возросла доля *Clostridiaceae* до 0,10-1,14 % (0-0,01 % в контроле) (рис. 6). На уровне родов снизилась доля *Culicoidibacter* до 0,35-2,50 % (1,95-10,42 % в контроле); представители *Brevinema* (0,06-8,18 % в контроле) выявлены не были (рис. 7).

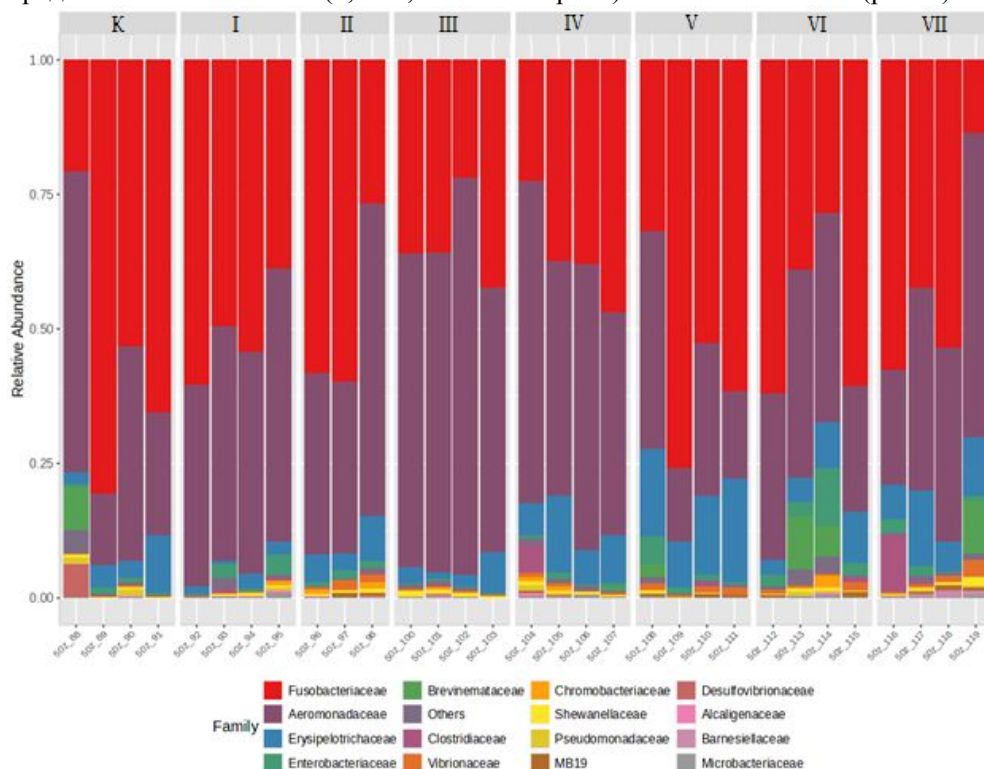


Рисунок 6. Таксономический состав на уровне семейств микробиоты кишечника рыб (топ-15 по относительному обилию, %)

Figure 6. Taxonomic composition at the family level of fish intestinal microbiota (top 15 in relative abundance, %)

На уровне семейств в опытных группах возросла доля *Vibrionaceae* до 0,15-1,59 % (0-0,02 % в контроле) (рис. 6, 7).

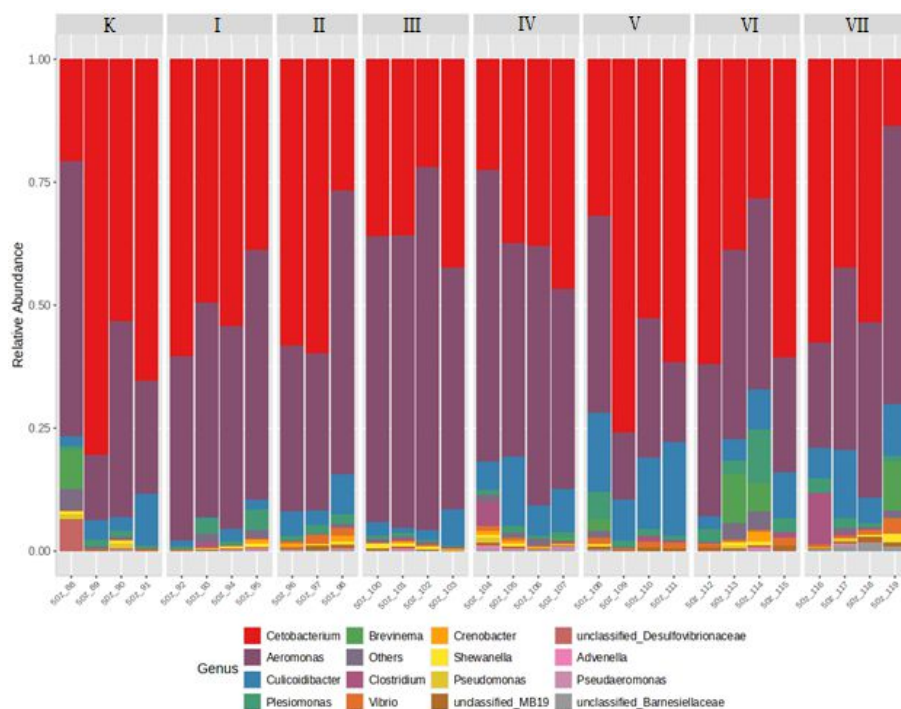


Рисунок 7. Таксономический состав на уровне родов микробиоты кишечника рыб (топ-15 по относительному обилию, %)

Figure 7. Taxonomic composition at the genus level of fish intestinal microbiota (top 15 in relative abundance, %)

В большинстве образцов стал доминировать филум *Pseudomonadota* с долей 50,00-75,81 % (15,23-60,73 % в контроле), а доля филума *Fusobacteriota* уменьшилась до 21,88-42,26 % (20,68-80,59 % в контроле) (рис. 4). Аналогично в большинстве образцов стали доминировать класс *Gammaproteobacteria* с долей 50,00-75,81 % (15,21-59,70 % в контроле) и семейство *Aeromonadaceae* с долей 49,42-73,89 % (13,39-56,08 % в контроле), тогда как доля класса *Fusobacteriia* и семейства *Fusobacteriaceae* уменьшилась до 21,88-42,26 % (20,68-80,59 % в контроле) (рис. 5, 6).

На уровне родов возросла доля *Aeromonas* до 49,39-73,89 % (13,39-56,02 % в контроле); снизилась доля *Cetobacterium* до 21,88-42,26 % (20,68-80,37 % в контроле) появились представители рода *Lactococcus* в доле 0,05-0,25 % (рис. 7).

В IV группе изменилась доля ряда доминирующих таксонов и минорных таксонов с низким относительным обилием. На уровне филумов снизилась доля *Fusobacteriota* до 22,45-46,75 % (20,68-80,59 % в контроле) и увеличилась доля *Bacillota* до 6,43-14,55 % (1,95-10,46 % в контроле) (рис. 4). На уровне классов снизилась доля *Fusobacteriia* до 22,45-46,75 % (20,68-80,59 % в контроле), увеличилась доля *Bacilli* до 5,78-14,32 % (1,95-10,45 % в контроле) и *Clostridia* до 0,04-5,27 % (0-0,01 % в контроле) (рис. 5). На уровне семейств снизилась доля *Fusobacteriaceae* до 22,45-46,75 % (20,68-80,59 % в контроле); возросла доля *Clostridiaceae* до 0,04-5,27 % (0-0,01 % в контроле), *Erysipelotrichaceae* до 5,70-14,19 % (1,95-10,42 % в контроле) (рис. 6, 7).

Аналогично в V группе изменилась доля ряда доминирующих таксонов. В частности, на уровне филумов увеличилась доля *Bacillota* до 8,35-19,34 % (1,95-10,46 % в контроле) (рис. 4). На уровне классов увеличилась доля *Bacilli* до 8,34-19,09 % (1,95-10,45 % в контроле) (рис. 5). На уровне семейств возросла доля *Clostridiaceae* до 0,04-5,27 % (0-0,01 % в контроле), *Enterobacteriaceae* до 0,72-5,32 % (0,58-1,29 % в контроле), *Erysipelotrichaceae* до 8,30-19,08 % (1,95-

10,42 % в контроле) (рис. 6). На уровне родов возросла доля *Culicoidibacter* до 8,30-19,08 % (1,95-10,42 % в контроле), появился *Lactococcus* в доле 0,01-0,43 %, отсутствующий в контроле (рис. 7).

В VI группе на уровне филумов были выявлены следующие изменения по сравнению с контролем (рис. 4). На уровне классов увеличилась доля *Clostridia* до 0,11-1,18 % (0-0,01 % в контроле) (рис. 5). На уровне семейств возросла доля *Enterobacteriaceae* до 2,47-10,64 % (0,58-1,29 % в контроле) (рис. 6). На уровне родов возросла *Plesiomonas* до 2,47-10,57 % (0,57-1,26 % в контроле), *Vibrio* до 0,15-1,34 % (0-0,02% в контроле) (рис. 7).

Множественные изменения на всех таксономических уровнях выявлены в VII группе. На уровне филумов увеличилась доля *Bacillota* до 8,35-19,34 % (1,95-10,46 % в контроле) (рис. 4). На уровне классов увеличилась доля *Bacilli* до 5,38-13,84 % (1,95-10,45 % в контроле) и *Clostridia* до 0,20-10,72 % (0-0,01 % в контроле) (рис. 5). На уровне семейств возросла доля *Clostridiaceae* до 0,20-10,72 % (0-0,01 % в контроле), *Erysipelotrichaceae* до 5,28-13,81 % (1,95-10,42 % в контроле), *Vibrionaceae* до 0,23-2,96 % (0-0,02 % в контроле), появились отсутствующие в контроле семейства *Barnesiellaceae* (0,33-1,40 %) (рис. 6). На уровне родов возросла доля *Culicoidibacter* до 5,28-13,81 % (1,95-10,42 % в контроле), *Clostridium* до 0,20-10,72 % (0-0,01 % в контроле) (рис. 7).

Обсуждение полученных результатов.

Выявлено, что кормовые препараты в комплексах оказывают различное действие на прирост живой массы. Так, в группах III и V, потреблявших ванилин и пробиотик как отдельно, так и совместно с УДЧ SiO₂, выявлены отрицательные результаты. В других опытных группах достигнуты положительные результаты. Ранее сообщалось, что интенсивность роста зависит от наличия некоторых видов бактерий и их количества в кишечнике. Использование кормовых добавок может положительно повлиять на взаимодействие между микробиотой кишечника и организмом хозяина, стимулируя иммунный ответ, повышение скорости роста, улучшение усвоения корма, повышение деятельности пищеварительных и антиоксидантных ферментов, увеличение выживаемости (Diwan AD et al., 2023; Ullah S et al., 2025).

В контроле и опытных группах выявлено 18 бактериальных филумов. Типичные представители кишечной микробиоты карпа – *Pseudomonadota*, *Bacillota* и *Fusobacteriota* (Мингазова М.С. и др., 2025; Zaminhan-Hassemer M et al., 2025), что было подтверждено нашим исследованием.

Альфа-разнообразие показывает видовое разнообразие и учитывает общее количество и равномерность распределения различных видов в сообществе (Tay DD et al., 2025). Установлено незначительное увеличение индексов Шеннона и Симпсона в IV и V группах. В VI и VII группах наблюдалось статистически значимое повышение как индекса Шеннона, так и прямого индекса Симпсона по сравнению с контролем. Увеличение индекса свидетельствует о росте общего таксономического разнообразия микробного сообщества. Одновременное повышение индекса Симпсона отражает усиление доминирования отдельных таксонов на фоне общего увеличения разнообразия (Денисов Д.Б., 2012).

Добавление в рацион карпа ванилина не приводило к существенным изменениям в соотношении бактериальных сообществ, однако наблюдалось снижение представителей нормальной кишечной микробиоты кишечника рыб. Ранее отмечался похожий эффект (Мингазова М.С. и др., 2025) при использовании ванилина в кормлении карпа, однако прирост живой массы в опытной группе указывал на отсутствие негативного влияния на организм.

Применение пробиотиков, состоящих из нескольких штаммов, может оказывать синергетическое действие на организм хозяина. Кроме того, пробиотические препараты могут активизировать анаэробную микробиоту кишечника, что способствует выработке ряда витаминов и различных пищеварительных ферментов (El-Saadony MT et al., 2021).

Включение в рацион карпа комбинации ванилина и пробиотика привело к увеличению доли представителей филума *Pseudomonadota*, класса *Gammaproteobacteria*, в частности рода *Aeromonas* (семейство *Aeromonadaceae*) и рода *Plesiomonas* (семейство *Enterobacteriaceae*), и снижению доли рода *Cetobacterium*. Снижение доли рода *Cetobacterium* следует рассматривать как неблагоприят-

ные изменения, поскольку он известен своей пробиотической и антагонистической активностью, а также способностью синтезировать витамин B₁₂ (Suzuki A et al., 2022; Qi X et al., 2023). Кроме того, установлено что численность этих бактерий в кишечнике адаптивно возрастает при добавлении пробиотиков, что сопровождается более эффективным усвоением пищи (Wang Z et al., 2021).

Использование комбинации ванилина, пробиотика, комплекса микроэлементов Zn, I, Cr, Co и ультрадисперсных частиц SiO₂ привело к множественным изменениям соотношений бактериальных таксонов в микробиоте кишечника карпа. Соотношение доминирующих таксонов в целом соответствовало контрольной группе, однако увеличилась доля ряда доминирующих и минорных таксонов, появились новые таксоны, что соответствует максимальному увеличению таксономического богатства кишечной микробиоты среди всех опытных групп. В частности, возросла доля филума *Bacillota*, классов *Bacilli* и *Clostridia*, семейств *Clostridiaceae*, *Erysipelotrichaceae*, *Vibrionaceae*, *Microbacteriaceae* и MB19, родов *Aurantimicrobium*, *Culicoidibacter*, *Clostridium*, *Vibrio*. Появились отсутствующие в контроле семейства *Barnesiellaceae*, *Pseudobdellovibrionaceae*, *Streptococcaceae*, *Tannerellaceae*. В целом выявленные изменения кишечной микробиоты можно охарактеризовать как множественные и благоприятные. Так, повышение в микробиоте кишечника карпа представителей *Bacillota* является благоприятным признаком, так как данный таксон является представителем нормальной микрофлоры кишечника карпа (Liu Y et al., 2026). Кроме того, они влияют на метаболизм глюкозы и липидов (Xu K et al., 2021), а также играют роль в усвоении жирных кислот (Yu J et al., 2023). Отметим, что бактерии, относящиеся к *Clostridia*, были обнаружены в большом количестве в кишечнике толстолобика и, возможно, являются основными бактериями, разлагающими целлюлозу в этой системе. Можно предположить, что данные играют важную роль в энергетическом обмене организма (Wu S et al., 2012).

Количество бактерий менялось в течение эксперимента, однако это не является определяющим фактором, также важно учитывать внезапные изменения между контролем и опытными группами, что не было отмечено в нашем эксперименте. Резкое изменение доминирующих таксонов на нетипичных представителей микробиоты кишечника у рыб способно вызывать дисбактериоз, что часто ассоциируется с различными заболеваниями, например с воспалительными процессами (Sivamani Y et al., 2023; Rebouças JSA et al., 2025). В то же время в опытных группах установлено наличие некоторых патогенных микроорганизмов – *Aeromonas* и *Vibrio*, при появлении в ряде групп представителей *Lactococcus*. Однако они могут присутствовать в организме речной рыбы, как типичные представители микробиоты (Tau DD et al., 2025). Так как среди представителей родов *Aeromonas* и *Vibrio* присутствуют бактерии-патогены, это требует тщательного изучения данного аспекта. При этом в ходе исследования не было отмечено смертности рыб и внешних признаков заболевания. Эти наблюдения позволили нам предположить, что увеличение количества представителей *Vibrio* и *Aeromonas* в составе микробиоты не привело к развитию патологических процессов инфекционной природы. Также ряд исследователей полагают, что штаммы бактерий родов *Vibrio* и *Aeromonas* можно рассматривать в качестве потенциальных пробиотиков, проявляющих антагонизм к патогенным бактериям в кишечнике (Hao K et al., 2017; Klindworth A et al., 2013; Sumon MAA et al., 2022).

Таким образом, изучение микробиома рыбы, в рацион которой дополнительно включают кормовые препараты, является важным аспектом исследований. Это позволяет оценить механизм добавок в системе «организм-хозяин» и соотнести их влияние на нормальное функционирование (Calcagnile M et al., 2025).

Заключение.

1. Положительный прирост живой массы (до 10,2 %; $P \leq 0,01$) наблюдался во всех опытных группах, за исключением III и V групп. Наибольшая масса карпа была в группе, потреблявшей ванилин в дозе 25 мг/кг корма.

2. Согласно результатам альфа-разнообразия значительные изменения качественного и количественного состава представителей микробиоты кишечника выявлены в VI и VII группах.

3. В микробиоте карпа было выявлено 18 бактериальных филумов, из которых доминирующими были *Pseudomonadota*, *Fusobacteriota* и *Bacillota* во всех группах, включая контроль, изменялось лишь соотношение филумов. Данные представителя являются типичными для карпа.

4. Снижение доли ряда представителей (*Bacillota*) нормальной кишечной микробиоты наблюдалось в I группе. В III группе установлено снижение рода *Cetobacterium*, что возможно являлось причиной снижения ростовых показателей карпа. При использовании во II, III, IV, V и VII группах пробиотика в качестве основного или дополнительного кормового препарата в составе микробиома появлялись молочнокислые бактерии *Lactococcus*. Значимые изменения по составу микробиоты кишечника были выявлены в VII группе, прирост живой массы в которой достигал 6,8 % ($p \leq 0,05$) относительно контроля.

Таким образом, наилучшие показатели по росту и составу кишечной микробиоты были выявлены в I группе, где в качестве кормового препарата использовался ванилин.

Список источников

1. Биологическое действие ультрадисперсных частиц SiO_2 , пробиотического препарата Бифидобиом и комплекса микроэлементов на организм карпа / М.С. Аринжанова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 1. С. 48-66. [Arinzhanova MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova JV. Biological effect of ultrafine particles of SiO_2 , probiotic preparation Bifidobiom and a complex of microelements on the body of carp. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023b;106(1):48-66. (In Russ.).] doi: 10.33284/2658-3135-106-1-48

2. Денисов Д. Б. Обзор некоторых критериев оценки биологического разнообразия // Математические исследования в естественных науках. 2012. № 8. С. 90-100. [Denisov DB. Obzor nekotoryh kriteriev ocenki biologicheskogo raznoobraziya. Matematicheskie issledovaniya v estestvennyh naukah. 2012;8:90-100. (In Russ.).]

3. Зуева М.С. Современный опыт включения биологически активных кормовых добавок в рацион рыб (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105. № 4. С. 146-164. [Zueva MS. Modern experience of including biologically active feed additives in the diet of fish (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2022;105(4):146-164. (In Russ.).] doi: 10.33284/2658-3135-105-4-146

4. Изучение влияния микроэлементов на физиолого-биохимические показатели радужной форели / Г.Е. Степанцова, Е.В. Нижникова, Н.П. Нефедова, В.И. Воробьев, О.Т. Лемперт // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2018. Т. 4. № 2. С. 128-135. [Stepantsova GE, Nizhnikova EV, Nefedova NP, Vorobjov VI, Lempert OT. Effect study of microelements on fiziologo-biochemical indicators of the rainbow trout. Journal of Science and Education of North-West Russia. 2018;4(2):128-135. (In Russ.).]

5. Козубова Л., Симонов Г., Науменко П. Влияние кобальта аскорбината на кур-несушек // Комбикорма. 2012. № 8. С. 95-96. [Kozubova L, Simonov G, Naumenko P. Vliyanie kobal'ta askorbina-ta na kur-nesushek. Combined feed. 2012;8:95-96. (In Russ.).]

6. Концентрация химических элементов в мышечной ткани карпа при включении в рацион биологически активных веществ / М.С. Мингазова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 4. С. 18-29. [Mingazova MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YuV. Concentration of chemical elements in carp muscle tissue when biologically active substances are included in the diet. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106(4):18-29. (In Russ.).] doi: 10.33284/2658-3135-106-4-18

7. Микробиом карпа при включении в рацион ванилина и ультрадисперсных частиц / М.С. Мингазова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // Аграрный научный журнал. 2025. № 11. С. 88-95. [Mingazova MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova JuV. The carp microbiome when vanillin and ultrafine particles are included in the diet. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2025;11:88-95. (In Russ.).] doi: 10.28983/asj.y2025i11pp88-95

8. Akter S, Jahan N, Rohani F, Akter Y, Shahjahan M. Chromium supplementation in diet enhances growth and feed utilization of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*). *Biological Trace Element Research*. 2021;199:4811-4819. doi: 10.1007/s12011-021-02608-2
9. Calcagnile M, Quarta E, Sicuro A, Pecoraro L, Schiavone R, Tredici SM, Talà A, Corallo A, Verri T, Stabili L, Alifano P. Effect of *Bacillus velezensis* MT9 on Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) intestinal microbiota. *Microbial Ecology*. 2025;88(1):37. doi: 10.1007/s00248-025-02531-2
10. Chen CZ, Li P, Wang WB, Li ZH. Response of growth performance, serum biochemical parameters, antioxidant capacity, and digestive enzyme activity to different feeding strategies in common carp (*Cyprinus carpio*) under high-temperature stress. *Aquaculture*. 2022;548(1):737636. doi: 10.1016/j.aquaculture.2021.737636
11. Churilov MN, Prazdnova EV, Rudoy DV. Psychobiotics in aquaculture: harnessing the microbiome-gut-brain axis for stress management and production enhancement in fish. *Animals (Basel)*. 2025;15(18):2726. doi: 10.3390/ani15182726
12. De Silva C, Nawawi NM, Abd Karim MM, Abd Gani S, Masarudin MJ, Gunasekaran B, Ahmad SA. The mechanistic action of biosynthesised silver nanoparticles and its application in aquaculture and livestock industries. *Animals (Basel)*. 2021;11(7):2097. doi: 10.3390/ani11072097
13. Diwan AD, Harke SN, Panche AN. Host-microbiome interaction in fish and shellfish: An overview. *Fish and Shellfish Immunology Reports*. 2023;4:100091. doi: 10.1016/j.fsirep.2023.100091
14. EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed (FEEDAP). Scientific Opinion on the use of cobalt compounds as additives in animal nutrition. *EFSA Journal*. 2009;7(12):1383. doi: 10.2903/j.efsa.2009.1383
15. El-Saadony MT, Alagawany M, Patra AK, Kar I, Tiwari R, Dawood MAO, Dhama K, Abdel-Latif HMR. The functionality of probiotics in aquaculture: An overview. *Fish & Shellfish Immunology*. 2021;117:36-52. doi: 10.1016/j.fsi.2021.07.007
16. El-Son MAM, Elbahnaswy S, Khormi MA, Aborasain AM, Abdelhaffez HH, Zahran E. Harnessing the fish gut microbiome and immune system to enhance disease resistance in aquaculture. *Fish & Shellfish Immunology*. 2025;163:110394. doi: 10.1016/j.fsi.2025.110394
17. Gramm SY, Beketov SV, Kochetkov NI, Klimov VA, Nikiforov-Nikishin AL, Nikiforov-Nikishin DL. Histological changes in the liver, intestines and kidneys of *Clarias gariepinus* when using feed with chelated compounds. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020;12(3):2380-2391. doi: 10.31838/ijpr/2020.12.03.331
18. Hao K, Wu ZQ, Li DL, Yu XB, Wang GX, Ling F. Effects of dietary administration of *Shewanella xiamenensis* A-1, *Aeromonas veronii* A-7, and *Bacillus subtilis*, single or combined, on the grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) intestinal microbiota. probiotics and antimicrobial proteins. 2017;9(4):386-396. doi: 10.1007/s12602-017-9269-7
19. Hayes C, Mitchell A, Huerlimann R, Jolly J, Li C, Booth DJ, Ravasi T, Nagelkerken I. Stomach microbiome simplification of a coral reef fish at its novel cold-range edge under climate change. *Molecular Ecology*. 2025;34(7):e17704. doi: 10.1111/mec.17704
20. He W, Rahimnejad S, Wang L, Song K, Lu K, Zhang C. Effects of organic acids and essential oils blend on growth, gut microbiota, immune response and disease resistance of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) against *Vibrio parahaemolyticus*. *Fish Shellfish Immunol*. 2017;70:164-173. doi: 10.1016/j.fsi.2017.09.007
21. Hew SY, Tan PY, Zhao K, Tan HY. Enhancing growth and modulation of gut microbiota in red hybrid Tilapia (*Oreochromis* sp.) with host-associated *Leuconostoc lactis* as feed additive. *Current Microbiology*. 2025;82(4):175. doi: 10.1007/s00284-025-04137-w
22. Klindwort, A, Pruesse E, Schweer T, Peplies J, Quast C, Horn M, Glöckner FO. Evaluation of general 16S ribosomal RNA gene PCR primers for classical and next-generation sequencing-based diversity studies. *Nucleic Acids Research*. 2013; 41(1):e1. doi: 10.1093/nar/gks808

23. Kolygas MN, Bitchava K, Nathanailides C, Athanassopoulou F. Phytochemicals: essential oils and other extracts for disease prevention and growth enhancement in aquaculture: challenges and opportunities. *Animals (Basel)*. 2025;15(18):2653. doi: 10.3390/ani15182653
24. Liu Y, Sun LJ, Li SH, Chen YX, Wang WR, Jin YG, Zhang I, Yang F. Residue depletion of sarafloxacin and its impact on the intestinal microbial community in Yellow River carp (*Cyprinus carpio haematopterus*) following multiple oral administration. *Aquaculture Reports*. 2026;48:103607. doi: 10.1016/j.aqrep.2026.103607
25. Maisch NA, Bereswill S, Heimesaat MM. Antibacterial effects of vanilla ingredients provide novel treatment options for infections with multidrug-resistant bacteria - A recent literature review. *Eur J Microbiol Immunol (Bp)*. 2022;12(3):53-62. doi: 10.1556/1886.2022.00015
26. Morshed SM, Lee T-H. The role of the microbiome on fish mucosal immunity under changing environments. *Fish & Shellfish Immunology*. 2023;139:108877. doi: 10.1016/j.fsi.2023.108877
27. Paralika V, Makridis P. Microbial interactions in rearing systems for marine fish larvae. *Microorganisms*. 2025;13(3):539. doi: 10.3390/microorganisms13030539
28. Pisaniello A, Handley KM, White WL, Angert ER, Clements KD. Ontogenetic variation in the gut microbiota of *Kyphosus sydneyanus*: a comparative analysis. *Microbiology Spectrum*. 2025;13(12):e0231725. doi: 10.1128/spectrum.02317-25
29. Qi X, Zhang Y, Zhang Y, Luo F, Song K, Wang G, Ling F. Vitamin B₁₂ produced by *Cetobacterium somerae* improves host resistance against pathogen infection through strengthening the interactions within gut microbiota. *Microbiome*. 2023;11(1):135. doi: 10.1186/s40168-023-01574-2
30. Rebouças JSA, Vieira AO, Rubas EM, Souza DSM, Kulcheski FR, Müller L, de Oliveira VD, Lima JV, Mendonça FW, Rosa RD, Perazzolo LM. Amazonian buriti and pracaxi as potential functional feed additives to improve shrimp immunity and resistance to WSSV. *Fish & Shellfish Immunology*. 2025;167:110703. doi: 10.1016/j.fsi.2025.110703
31. Rimoldi S, Gini E, Koch JFA, Iannini F, Brambilla F, Terova G. Effects of hydrolyzed fish protein and autolyzed yeast as substitutes of fishmeal in the gilthead sea bream (*Sparus aurata*) diet, on fish intestinal microbiome. *BMC Vet Res*. 2020;16(1):118. doi: 10.1186/s12917-020-02335-1. Erratum in: *BMC Vet Res*. 2020;16(1):219. doi: 10.1186/s12917-020-02416-1
32. Sivamani Y, Sajal H, Elayaperumal S. Dysbiosis of microbiome: A risk factor for cancer, metabolic and inflammatory diseases. *Microbial Biofilms: Challenges and Advances in Metabolomic Study*. 2023;267-288. doi: 10.1016/B978-0-323-95715-1.00011-X
33. Sumon MAA, Sumon TA, Hussain MA, Lee SJ, Jang WJ, Shari-fuzzaman SM, Brown CL, Lee EW, Hasan MT. Single and multi-strain probiotics supplementation in commercially prominent finfish aquaculture: Review of the current knowledge. *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2022;32(6):681-698. doi: 10.4014/jmb.2202.02032
34. Suzuki A, Shirakata C, Anzai H, Sumiyama D, Suzuki M. Vitamin B₁₂ biosynthesis of *Cetobacterium ceti* isolated from the intestinal content of captive common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Microbiology*. 2022;168(9):001244. doi: 10.1099/mic.0.001244
35. Tay DD, Kumar VS, Shapawi R, Shah MD, Ahmad HF, Mazlan N. The Relationship between the gut microbiome and the aqua cultured fish, general prospects toward fish health: a systematic review. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2025;197(10):6314-6357. doi: 10.1007/s12010-025-05330-0
36. Ullah S, Feng F, Zhao M, Zhang J, Shao Q. Comparative effects of dietary supplementations with microencapsulated sodium butyrate, glycerol monolaurate and tributyrin on growth, immunity, and gut health in black sea bream. *Animals (Basel)*. 2025;15(6):810. doi: 10.3390/ani15060810
37. Wang Z, Zhang C, Lu K, Song K, Li X, Wang L, Rahimnejad S. Effects of supplementing intestinal autochthonous bacteria in plant-based diets on growth, nutrient digestibility, and gut health of bullfrogs (*Lithobates catesbeianus*). *Front. Microbiol*. 2021;12:739572. doi: 10.3389/fmicb.2021.739572
38. Wu S, Wang G, Angert ER, Wang W, Li W, Zou H. Composition, diversity, and origin of the bacterial community in grass carp intestine. *PLoS ONE*. 2012;7(2):e30440. doi: 10.1371/journal.pone.0030440

39. Xu K, Zhang Y, Huang Y, Wang J. Toxicological effects of microplastics and phenanthrene to zebrafish (*Danio rerio*). *Science of the Total Environment*. 2021;757:143730. doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2020.143730
40. Yang Q, Jin Y, Yang L, Hu R, Ma J, Wu Z, Yang T, Yang B, Li S, Cong W, Kang Y. Decadal meta-analysis confirms *Bacillus* spp. optimizes fish intestinal microbiota. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2026;1556(1):e70154. doi: 10.1111/nyas.70154
41. Yoon D-S, Kim j-H, Kim I-C, Wang Y, Yang Z, Lee M-C, Lee J-S. Effects of environmental factors on host-microbiota interactions in the guts of aquatic organisms: A review. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part C: Toxicology & Pharmacology*. 2026;300:110381. doi: 10.1016/j.cbpc.2025.110381
42. Yu J, Zhong D, Li S, Zhang Z, Mo H, Wang L. Acute temperature stresses trigger liver transcriptome and microbial community remodeling in largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Aquaculture*. 2023;573(13):739573. doi: 10.1016/j.aquaculture.2023.739573
43. Yu X-Z, Yu Y, Liu Z-Y. Crosstalk between intestinal microbiota and host defense peptides in fish. *Biology (Basel)*. 2025;14(9):1243. doi: 10.3390/biology14091243
44. Zaminhan-Hassemer M, Zagolin GB, Araújo BC, Perazza CA, Barbosa DA, Menegidio FB, Coutinho LL, Tizioto P, Hilsdorf AWS. Effect of green propolis crude extract on the modulation of intestinal microbiota and on the productive performance of juvenile Nile tilapia. *Veterinary Research Communications*. 2025;49(2):120. doi: 10.1007/s11259-025-10683-2
45. Zhang L, Liu Z, Deng Y, He C, Liu W, Li X. The benefits of nanosized magnesium oxide in fish *Megalobrama amblycephala*: evidence in growth performance, redox defense, glucose metabolism, and magnesium homeostasis. *Antioxidants (Basel)*. 2023;12(7):1350. doi: 10.3390/antiox12071350

References

1. Arinzhanova MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova JV. Biological effect of ultrafine particles of SiO₂, probiotic preparation Bifidobiom and a complex of microelements on the body of carp. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023b;106(1):48-66. doi: 10.33284/2658-3135-106-1-48
2. Denisov DB. A Review of Some Criteria for Assessing Biodiversity. *Mathematical Research in the Natural Sciences*. 2012;8:90-100.
3. Zueva MS. Modern experience of including biologically active feed additives in the diet of fish (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(4):146-164. doi: 10.33284/2658-3135-105-4-146
4. Stepantsova GE, Nizhnikova EV, Nefedova NP, Vorobjov VI, Lempert OT. Effect study of microelements on fiziologo-biochemical indicators of the rainbow trout. *Journal of Science and Education of North-West Russia*. 2018;4(2):128-135.
5. Kozubova L, Simonov G, Naumenko P. The effect of cobalt ascorbate on laying hens. *Combined feed*. 2012;8:95-96.
6. Mingazova MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova YuV. Concentration of chemical elements in carp muscle tissue when biologically active substances are included in the diet. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(4):18-29. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-18
7. Mingazova MS, Miroshnikova EP, Arinzhanov AE, Kilyakova JuV. The carp microbiome when vanillin and ultrafine particles are included in the diet. *Agrarian Scientific Journal*. 2025;11:88-95. doi: 10.28983/asj.y2025i11pp88-95
8. Akter S, Jahan N, Rohani F, Akter Y, Shahjahan M. Chromium supplementation in diet enhances growth and feed utilization of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*). *Biological Trace Element Research*. 2021;199:4811-4819. doi: 10.1007/s12011-021-02608-2
9. Calcagnile M, Quarta E, Sicuro A, Pecoraro L, Schiavone R, Tredici SM, Talà A, Corallo A, Verri T, Stabili L, Alifano P. Effect of *Bacillus velezensis* MT9 on Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) intestinal microbiota. *Microbial Ecology*. 2025;88(1):37. doi: 10.1007/s00248-025-02531-2

10. Chen CZ, Li P, Wang WB, Li ZH. Response of growth performance, serum biochemical parameters, antioxidant capacity, and digestive enzyme activity to different feeding strategies in common carp (*Cyprinus carpio*) under high-temperature stress. *Aquaculture*. 2022;548(1):737636. doi: 10.1016/j.aquaculture.2021.737636
11. Churilov MN, Prazdnova EV, Rudoy DV. Psychobiotics in aquaculture: harnessing the microbiome-gut-brain axis for stress management and production enhancement in fish. *Animals (Basel)*. 2025;15(18):2726. doi: 10.3390/ani15182726
12. De Silva C, Nawawi NM, Abd Karim MM, Abd Gani S, Masarudin MJ, Gunasekaran B, Ahmad SA. The mechanistic action of biosynthesised silver nanoparticles and its application in aquaculture and livestock industries. *Animals (Basel)*. 2021;11(7):2097. doi: 10.3390/ani11072097
13. Diwan AD, Harke SN, Panche AN. Host-microbiome interaction in fish and shellfish: An overview. *Fish and Shellfish Immunology Reports*. 2023;4:100091. doi: 10.1016/j.fsirep.2023.100091
14. EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed (FEEDAP). Scientific Opinion on the use of cobalt compounds as additives in animal nutrition. *EFSA Journal*. 2009;7(12):1383. doi: 10.2903/j.efsa.2009.1383
15. El-Saadony MT, Alagawany M, Patra AK, Kar I, Tiwari R, Dawood MAO, Dhama K, Abdel-Latif HMR. The functionality of probiotics in aquaculture: An overview. *Fish & Shellfish Immunology*. 2021;117:36-52. doi: 10.1016/j.fsi.2021.07.007
16. El-Son MAM, Elbahnaswy S, Khormi MA, Aborasain AM, Abdelhaffez HH, Zahran E. Harnessing the fish gut microbiome and immune system to enhance disease resistance in aquaculture. *Fish & Shellfish Immunology*. 2025;163:110394. doi: 10.1016/j.fsi.2025.110394
17. Gramm SY, Beketov SV, Kochetkov NI, Klimov VA, Nikiforov-Nikishin AL, Nikiforov-Nikishin DL. Histological changes in the liver, intestines and kidneys of *Clarias gariepinus* when using feed with chelated compounds. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020;12(3):2380-2391. doi: 10.31838/ijpr/2020.12.03.331
18. Hao K, Wu ZQ, Li DL, Yu XB, Wang GX, Ling F. Effects of dietary administration of *Shewanella xiamenensis* A-1, *Aeromonas veronii* A-7, and *Bacillus subtilis*, single or combined, on the grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) intestinal microbiota. probiotics and antimicrobial proteins. 2017;9(4):386-396. doi: 10.1007/s12602-017-9269-7
19. Hayes C, Mitchell A, Huerlimann R, Jolly J, Li C, Booth DJ, Ravasi T, Nagelkerken I. Stomach microbiome simplification of a coral reef fish at its novel cold-range edge under climate change. *Molecular Ecology*. 2025;34(7):e17704. doi: 10.1111/mec.17704
20. He W, Rahimnejad S, Wang L, Song K, Lu K, Zhang C. Effects of organic acids and essential oils blend on growth, gut microbiota, immune response and disease resistance of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) against *Vibrio parahaemolyticus*. *Fish Shellfish Immunol*. 2017;70:164-173. doi: 10.1016/j.fsi.2017.09.007
21. Hew SY, Tan PY, Zhao K, Tan HY. Enhancing growth and modulation of gut microbiota in red hybrid Tilapia (*Oreochromis* sp.) with host-associated *Leuconostoc lactis* as feed additive. *Current Microbiology*. 2025;82(4):175. doi: 10.1007/s00284-025-04137-w
22. Klindwort, A, Pruesse E, Schweer T, Peplies J, Quast C, Horn M, Glöckner FO. Evaluation of general 16S ribosomal RNA gene PCR primers for classical and next-generation sequencing-based diversity studies. *Nucleic Acids Research*. 2013; 41(1):e1. doi: 10.1093/nar/gks808
23. Kolygas MN, Bitchava K, Nathanailides C, Athanassopoulou F. Phytochemicals: essential oils and other extracts for disease prevention and growth enhancement in aquaculture: challenges and opportunities. *Animals (Basel)*. 2025;15(18):2653. doi: 10.3390/ani15182653
24. Liu Y, Sun LJ, Li SH, Chen YX, Wang WR, Jin YG, Zhang I, Yang F. Residue depletion of sarafloxacin and its impact on the intestinal microbial community in Yellow River carp (*Cyprinus carpio haematopterus*) following multiple oral administration. *Aquaculture Reports*. 2026;48:103607. doi: 10.1016/j.aqrep.2026.103607

25. Maisch NA, Bereswill S, Heimesaat MM. Antibacterial effects of vanilla ingredients provide novel treatment options for infections with multidrug-resistant bacteria - A recent literature review. *Eur J Microbiol Immunol (Bp)*. 2022;12(3):53-62. doi: 10.1556/1886.2022.00015
26. Morshed SM, Lee T-H. The role of the microbiome on fish mucosal immunity under changing environments. *Fish & Shellfish Immunology*. 2023;139:108877. doi: 10.1016/j.fsi.2023.108877
27. Paralika V, Makridis P. Microbial interactions in rearing systems for marine fish larvae. *Microorganisms*. 2025;13(3):539. doi: 10.3390/microorganisms13030539
28. Pisaniello A, Handley KM, White WL, Angert ER, Clements KD. Ontogenetic variation in the gut microbiota of *Kyphosus sydneyanus*: a comparative analysis. *Microbiology Spectrum*. 2025;13(12):e0231725. doi: 10.1128/spectrum.02317-25
29. Qi X, Zhang Y, Zhang Y, Luo F, Song K, Wang G, Ling F. Vitamin B₁₂ produced by *Cetobacterium somerae* improves host resistance against pathogen infection through strengthening the interactions within gut microbiota. *Microbiome*. 2023;11(1):135. doi: 10.1186/s40168-023-01574-2
30. Rebouças JSA, Vieira AO, Rubas EM, Souza DSM, Kulcheski FR, Müller L, de Oliveira VD, Lima JV, Mendonça FW, Rosa RD, Perazzolo LM. Amazonian buriti and pracaxi as potential functional feed additives to improve shrimp immunity and resistance to WSSV. *Fish & Shellfish Immunology*. 2025;167:110703. doi: 10.1016/j.fsi.2025.110703
31. Rimoldi S, Gini E, Koch JFA, Iannini F, Brambilla F, Teroza G. Effects of hydrolyzed fish protein and autolyzed yeast as substitutes of fishmeal in the gilthead sea bream (*Sparus aurata*) diet, on fish intestinal microbiome. *BMC Vet Res*. 2020;16(1):118. doi: 10.1186/s12917-020-02335-1. Erratum in: *BMC Vet Res*. 2020;16(1):219. doi: 10.1186/s12917-020-02416-1
32. Sivamani Y, Sajal H, Elayaperumal S. Dysbiosis of microbiome: A risk factor for cancer, metabolic and inflammatory diseases. *Microbial Biofilms: Challenges and Advances in Metabolomic Study*. 2023;267-288. doi: 10.1016/B978-0-323-95715-1.00011-X
33. Sumon MAA, Sumon TA, Hussain MA, Lee SJ, Jang WJ, Shari-fuzzaman SM, Brown CL, Lee EW, Hasan MT. Single and multi-strain probiotics supplementation in commercially prominent finfish aquaculture: Review of the current knowledge. *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2022;32(6):681-698. doi: 10.4014/jmb.2202.02032
34. Suzuki A, Shirakata C, Anzai H, Sumiyama D, Suzuki M. Vitamin B₁₂ biosynthesis of *Cetobacterium ceti* isolated from the intestinal content of captive common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Microbiology*. 2022;168(9):001244. doi: 10.1099/mic.0.001244
35. Tay DD, Kumar VS, Shapawi R, Shah MD, Ahmad HF, Mazlan N. The Relationship between the gut microbiome and the aqua cultured fish, general prospects toward fish health: a systematic review. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2025;197(10):6314-6357. doi: 10.1007/s12010-025-05330-0
36. Ullah S, Feng F, Zhao M, Zhang J, Shao Q. Comparative effects of dietary supplementations with microencapsulated sodium butyrate, glycerol monolaurate and tributyrin on growth, immunity, and gut health in black sea bream. *Animals (Basel)*. 2025;15(6):810. doi: 10.3390/ani15060810
37. Wang Z, Zhang C, Lu K, Song K, Li X, Wang L, Rahimnejad S. Effects of supplementing intestinal autochthonous bacteria in plant-based diets on growth, nutrient digestibility, and gut health of bullfrogs (*Lithobates catesbeianus*). *Front. Microbiol*. 2021;12:739572. doi: 10.3389/fmicb.2021.739572
38. Wu S, Wang G, Angert ER, Wang W, Li W, Zou H. Composition, diversity, and origin of the bacterial community in grass carp intestine. *PloS ONE*. 2012;7(2):e30440. doi: 10.1371/journal.pone.0030440
39. Xu K, Zhang Y, Huang Y, Wang J. Toxicological effects of microplastics and phenanthrene to zebrafish (*Danio rerio*). *Science of the Total Environment*. 2021;757:143730. doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2020.143730
40. Yang Q, Jin Y, Yang L, Hu R, Ma J, Wu Z, Yang T, Yang B, Li S, Cong W, Kang Y. Decadal meta-analysis confirms *Bacillus* spp. optimizes fish intestinal microbiota. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2026;1556(1):e70154. doi: 10.1111/nyas.70154

41.Yoon D-S, Kim j-H, Kim I-C, Wang Y, Yang Z, Lee M-C, Lee J-S. Effects of environmental factors on host-microbiota interactions in the guts of aquatic organisms: A review. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part C: Toxicology & Pharmacology*. 2026;300:110381. doi: 10.1016/j.cbpc.2025.110381

42.Yu J, Zhong D, Li S, Zhang Z, Mo H, Wang L. Acute temperature stresses trigger liver transcriptome and microbial community remodeling in largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Aquaculture*. 2023;573(13):739573. doi: 10.1016/j.aquaculture.2023.739573

43.Yu X-Z, Yu Y, Liu Z-Y. Crosstalk between intestinal microbiota and host defense peptides in fish. *Biology (Basel)*. 2025;14(9):1243. doi: 10.3390/biology14091243

44.Zaminhan-Hassemer M, Zagolin GB, Araújo BC, Perazza CA, Barbosa DA, Menegidio FB, Coutinho LL, Tizioto P, Hilsdorf AWS. Effect of green propolis crude extract on the modulation of intestinal microbiota and on the productive performance of juvenile Nile tilapia. *Veterinary Research Communications*. 2025;49(2):120. doi: 10.1007/s11259-025-10683-2

45.Zhang L, Liu Z, Deng Y, He C, Liu W, Li X. The benefits of nanosized magnesium oxide in fish *Megalobrama amblycephala*: evidence in growth performance, redox defense, glucose metabolism, and magnesium homeostasis. *Antioxidants (Basel)*. 2023;12(7):1350. doi: 10.3390/antiox12071350

Информация об авторах:

Марина Сергеевна Мингазова, кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры «Биотехнология животного сырья и аквакультуры», Оренбургский государственный университет имени В.А. Бондаренко, 460018, г. Оренбург, пр. Победы 13, тел.: 8-922-853-24-46.

Юлия Владимировна Киякова, кандидат биологических наук, доцент кафедры «Биотехнология животного сырья и аквакультуры», Оренбургский государственный университет имени В.А. Бондаренко, 460018, г. Оренбург, пр. Победы 13, тел.: 8-961-920-40-64.

Елена Петровна Мирошникова, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Биотехнология животного сырья и аквакультуры», Оренбургский государственный университет имени В.А. Бондаренко, 460018, г. Оренбург, пр. Победы 13, тел.: 8-987-862-98-86.

Азамат Ерсанович Аринжанов, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Биотехнология животного сырья и аквакультуры», Оренбургский государственный университет имени В.А. Бондаренко, 460018, г. Оренбург, пр. Победы 13, тел.: 8-922-806-33-43.

Information about the authors:

Marina S Mingazova, Cand. Sci. (Biology), Senior Lecturer of the Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture, Orenburg State University named after VA Bondarenko, 13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, tel: 8-922-853-24-46.

Yulia V Kilyakova, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture, Orenburg State University named after VA Bondarenko, 13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, tel.: 8-961-920-40-64.

Elena P Miroshnikova, Dr. Sci. (Biology), Professor, Head of the Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture, Orenburg State University named after VA Bondarenko, 13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, tel.: 8-987-862-98-86.

Azamat E Arinzhanov, Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture, Orenburg State University named after VA Bondarenko, 13 Pobedy Ave, Orenburg, 460018, tel.: 8-922-806-33-43.

Статья поступила в редакцию 16.02.2026; одобрена после рецензирования 19.05.2026; принята к публикации 15.06.2026.

The article was submitted 16.02.2026; approved after reviewing 19.05.2026; accepted for publication 15.06.2026.